



八论矿床的成矿系列

陈毓川^{1,2)}, 裴荣富¹⁾, 王登红¹⁾, 黄凡¹⁾

1) 中国地质科学院矿产资源研究所, 自然资源部成矿作用与资源评价重点实验室, 北京, 100037;
2) 中国地质科学院, 北京, 100037

内容提要:矿床的成矿系列(简称成矿系列)是区域成矿研究的一种学术思想,亦是地球系统四维成矿论。认为地球的矿床世界是由特定的时空域内,各类地质成矿作用形成的矿床类型组合的矿床自然体—矿床成矿系列及其联合体—成矿体系所组成。矿床形成决定于时间、空间、成矿作用三要素。矿床世界的基本单元是矿床成矿系列。矿床成矿系列组成成矿体系,成矿体系组成矿床世界。提出六个序次的成矿系列序次。

关键词:成矿系列;成矿三要素;矿床成矿系列;成矿体系

为纪念中国地质学会成立一百周年和程裕淇先生一百一十年华诞,我们永记在程老率领下于1979年提出了成矿系列概念,并继承研究应用已四十余年,特把最新成果向中国地质学会和程老献礼,以表达我们的心意。

成矿系列是区域成矿研究的一种学术思想,亦是地球系统四维成矿论(陈毓川等,2020),用系统论、活动论观点研究在地球演化各阶段、各特定地质构造环境中的地质成矿作用过程及形成的矿床类型组合自然体(程裕淇等,1979)。认为地球的矿床世界是由特定的时空域内的矿床自然体——矿床成矿系列及其联合体——成矿体系所组成(陈毓川等,2006;2007;2015;2020)。

自然界中矿床的形成取决于三个要素:时间、空间及成矿作用(陈毓川等,2015)。时间是地球演化的特定时段,空间是此时段内地球圈层演化所构成的地质构造环境的地质实体,成矿作用是形成地质构造环境过程中的地质作用。对矿床的形成,矿床界常用“源、运、聚”作为成矿三要素,这是成矿过程的三要素。而作为地球系统四维时空域中矿床的形成取决于时、空与成矿作用。两者并不矛盾,两者结合更为全面。

在这三同(相同时间、相同空间及相同成矿作用)的四维时空域中,均会形成具有一定成矿元素(及矿物)所构成的多种矿床类型组合的矿床自然体,与“三同”构成的四位一体的四维实体(图1)。此实体称之为矿床成矿系列,亦就是在地球系统的矿床世界里,独立存在的矿床群体基本单元,即三同四一体的矿床自然体(陈毓川等,2020)。

地球演化的不同时段,在不同层次的地质构造地域内,由相关的矿床成矿系列构成不同层次的矿床成矿体系,并集成全球成矿体系(图2)。研究矿床成矿系列与各层次成矿体系的形成过程及成矿演化,建立相应的区域成矿谱系、区域成矿模式,进行成矿预测,提高找矿效率,探索不同层次区域成矿规律及地球的矿床世界成矿规律。

由我国自主提出的成矿系列概念及为此不断地探索研究,都是为发展矿床学及有效促进地质找矿工作服务的,四十多年的努力,已初见成效(叶庆同等,1991;陈毓川等,1995;1998;2007;2015;韩振新等,1996;刘德权等,1996;章伯明等,1996;翟裕生,1996;裴荣富等,1998;王平安等,1998;罗铭玖等,2000;王登红等,2002;2020;冯学仕等,2004;李均权等,2005;邵和明等,2016;潘彤,2019;Chen Yuchuan et al.,

本文为《地质学报》创刊100周年特邀论文。

注:本文为中国地质调查局中国矿产地质志项目(编号DD20160346、DD20190379)和中央级公益性科研院所基本科研业务费项目(编号JYYWF20183701、JYYWF20183704)联合资助的成果。

收稿日期:2021-10-09;改回日期2021-12-15;网络发表日期:2021-12-29;责任编辑:李曼。

作者简介:陈毓川,男,1934年生。研究员,博士生导师,中国工程院院士。主要从事区域成矿学研究。E-mail: chenyu@cags.ac.cn。

引用本文:陈毓川,裴荣富,王登红,黄凡. 2022. 八论矿床的成矿系列. 地质学报, 96(1): 123~130, doi:10.19762/j.cnki.dizhixuebao.2022219.

Chen Yuchuan, Pei Rongfu, Wang Denghong, Huang Fan. 2022. A discussion on minerogenetic series of mineral deposits (VIII). Acta Geologica Sinica, 96(1): 123~130.

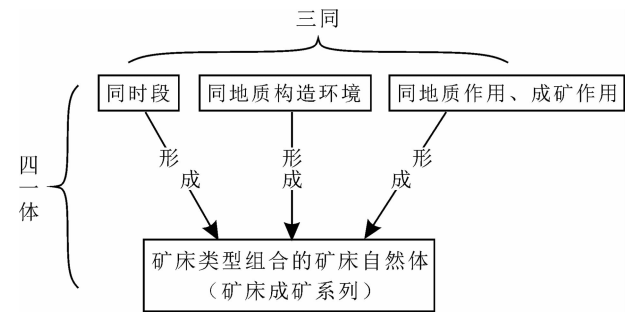


图 1 三同四一体矿床成矿系列图

Fig. 1 The three same factors and four-in-one minero-genetic series for mineral deposits

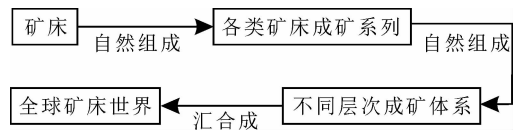


图 2 全球矿床世界组成

Fig. 2 Composition of global ore deposits

2020;杜建国等,2020;卢映祥等,2021)。

以上就是成矿系列地球系统四维成矿论的总貌。此学术思想及主要研究内容论述如下：

1 地球系统四维时空域中成矿三要素

世界上的矿床都是在特定的时间、空间和成矿作用三要素融合下形成的(陈毓川等,2015)。时间是地球演化的某个特定时段,每个时段都具有不同的内涵,是反映地球演化的不同阶段。宇宙天体都在演化,地球也不例外,在漫长的演变过程中,每一时段都反映了当时地球演化的状态,每个时段地球状态是不一样的,不同的状态决定了地球各层圈的状态及成矿的客观环境,因此,时间要素包含了地球演化各阶段的成矿背景,不同阶段是不一样的。因此,成矿时段对成矿有重要意义。

空间是特定时段内地球层圈演化所构成的特定地质构造环境的地质实体及其所占有的三维空间区域。在地球演化各时段,由于地球各部位层圈间作用、演化的不同,在岩石圈上部不同地段可以形成不同的与成矿有关的地质实体,如大陆板块、大洋板块,板块间俯冲、碰撞、缝合带及弧盆等,大陆板块边缘及板内拗陷、裂隙、裂谷带,深大断裂带,陆内盆山构造带,海洋洋脊、洋盆、深断岩浆活动带,地球层圈作用不同空间形成的地幔柱活动区、带等。每一个地质构造环境的地质实体占有特定区域空间,这是成矿的空间所在,不可缺少的要素。而各个地质构

造环境区域都有一定的范围,不同的形态,有大、有小,亦都有一定的形成和活动时段,有长、有短。

因此,空间与时间是融合一体的,都构成地球系统中独一无二的成矿时空域实体。

成矿作用是形成地质构造环境的地质作用中的组成部分。地质作用含义很广,地球内的层圈间作用、壳幔间作用、大地构造运动、岩浆作用、沉积作用、变质作用等地质作用形成地质构造环境中的各种地质体,这些地质体中凡是人类社会生存与发展所能够利用的部分就是矿产,矿产集中在矿床中,形成矿床的地质作用就是成矿作用。地质作用是自然界的作用,成矿作用是人类给予附加的概念。成矿作用是多样的,文中主要列出:岩浆成矿作用、沉积成矿作用、变质成矿作用、表生成矿作用、含矿流体(非岩浆、非变质)成矿作用(陈毓川等,2015)。通常,不同的成矿作用形成不同成因的矿床,构成与此有关的矿床成矿系列。在特殊情况下亦可多种成矿作用共同形成矿床,如火山—沉积矿床,是岩浆作用的成矿物质在盆地中沉积成矿,矿床列入岩浆作用的矿床成矿系列。其他的成矿作用还有生物成矿作用、宇宙外来成矿作用等没有单独列出,文中将生物成矿作用合入沉积成矿作用中的生物化学沉积作用和表生成矿作用中,将宇宙外来的合入岩浆成矿作用中。由于成矿作用的复杂性,目前的科技水平所限,有的矿床成因尚难以下结论,因此,文中尚列一类成因不明,暂放入含矿流体成矿作用一类,可加以说明。因此,成矿作用是因人类对矿产之所需,从地质作用中专门分出一类作用,其本身亦是地质作用,其形成的矿产、矿床可以随着人类科技发展对矿产需求的变化,而有所变化。

形成矿床的上述三要素缺一不可,矿床必定在特定的四维时空域中形成。这就是地球系统四维成矿。

2 矿床世界的基本单元——矿床成矿系列

在特定的四维时空域中,矿床不是单个存在,而是以有成因联系的多类型矿床组合的自然体存在,这就是矿床成矿系列,可概括为“三同四一体”的矿床自然体。这是成矿系列理论中的核心内容(陈毓川等,2006;2015)。

赋存矿床成矿系列的四维时空域是特定时段内构造-成矿旋回形成的相对独立的地质构造单元。构造-成矿旋回是指目前地质界共识的大地构造旋

回,因为都与成矿有关,因此称为构造-成矿旋回。在每个区域可经历一个旋回活动,亦可经历多个旋回活动,构造旋回是从构造伸展到强烈挤压活动(伴随岩浆活动)造山、到平稳升降活动全过程,这是地球层圈、壳幔有规律的周期活动的体现,是由同一内因形成的全过程。在此过程中可有规律地先后形成褶皱、断裂、岩浆活动的造山带,山前、山后的沉积盆地等,同时形成与岩浆作用有关的矿床成矿系列,与沉积作用有关的矿床成矿系列,甚至表生作用的矿床成矿系列等。构造活动旋回涉及的范围可以很大,大至跨洲际,与成矿有关,形成成矿域,但其活动演化的不同时段可形成相对独立的次级不同性质、不同空域的地质构造单元,与成矿作用融合,形成成矿省、成矿区(带)。在此构造旋回中形成的相对独立的构造区(带)就是独立的特定的成矿四维时空域,并形成不同的矿床成矿系列。举一例说明:我国华南地区属中生代陆内构造成矿旋回活动区,形成了成矿省,在此时空域内有相对独立的地质构造单元,形成相对独立的成矿区(带),如长江中下游中-偏基性岩浆作用为主的成矿带、南岭花岗岩成矿作用为主的成矿区、沿海火山岩成矿作用为主的成矿带等。长江中下游成矿带中形成规模很大的与中-偏基性岩浆作用有关的铜、铁、金、非金属矿床成矿系列;与沉积作用有关的石灰岩、煤、石膏等矿床成矿系列;与表生作用有关的铁帽型铁、金矿、高岭土成矿系列。矿床成矿系列的厘定,使区内所有矿床得到时空及成因定位,并不同程度厘定了与其他同成因矿床的时空分布状态、规律及内在联系,意义重大。亦有一些特殊的构造-成矿旋回,如与深部地幔有关的金伯利岩金刚石矿的矿床成矿系列,是某一特殊时期与沟通深部地幔的超深断裂有关,因此涉及的四维时空域较小,但亦属相对独立的成矿时空域,可形成独立的矿床成矿系列。

矿床成矿系列内部结构与组成有一定规律,受构造-成矿旋回所控制(图 3):

(1)在时空分布及成矿活动上,矿床成矿系列形成的时段,有长、有短,长达亿年之上,如南岭成矿区花岗岩成矿,短至百万年间,如第四纪的沉积、表生成矿,形成的范围亦是有大、有小。成矿活动在同一地区,或不同地区,可一次或多期次进行,形成成矿元素、矿物与矿床时空分布,并有一定规律。

(2)矿床成矿系列有独立的,更多是由成矿亚系列组成。在相对独立的成矿区、带中,尤其是范围较大的成矿区带中,在不同地段,可先后形成不同的地

质构造环境,并伴有相应的同类性质成矿作用,先后形成各有特色的成矿元素组成及各种成因类型的矿床组合自然体,但总貌一致,属于一个矿床成矿系列,可分别构成矿床成矿亚系列。例如,在长江中下游成矿带的岩浆作用矿床成矿系列就由多个矿床成矿亚系列所构成,如在安徽省铜陵地区构造隆起带的与闪长岩类有关的铜、金矿亚系列,成岩、成矿时代在 145~135 Ma 之间;湖北省鄂东南地区与中-偏基性岩浆火山-侵入活动有关的铁、铜、金矿床成矿亚系列,成矿时代在 147~125 Ma 之间;宁-芜及庐-枞构造拗陷火山盆地中与中-偏基性火山-侵入活动有关的铁(铜)、非金属成矿亚系列,成岩成矿时代为 130~120 Ma;宁-镇隆起区与中酸性岩浆侵入活动有关的银、铅、锌矿床成矿亚系列等构成。

(3)在矿床成矿系列及亚系列中矿床的形成与分布常有集中区、带,形成矿田。矿田通常是受构造-岩浆-沉积活动所控制,断裂构造控制了形成矿床密集带,受成矿岩浆活动中心控制形成球形矿田,例如长江中下游的宁-芜火山岩盆地成矿亚带中,北、中、南部有三个岩浆火山-侵入活动中心,围绕活动中心形成三个矿田(梅山矿田、凹山矿田、姑山矿田),每个矿田均有十个左右矿床构成,具有一定时空分布规律。有些内生外成的沉积矿,如贵州省南华纪的锰矿受海底深断裂中心控制等。

(4)矿床成矿系列中的矿床由一种或多种矿床类型的矿床组合所构成,这些矿床类型的代表矿床,就是矿床式。矿床式具有同类型矿床形成的代表性地质构造条件及物化条件。不同的矿床类型形成的时空及成矿条件、成矿元素组合有所不同,但在成因上是共同的。因此,确定矿床类型,研究不同类型矿床之间时空分布规律、内在成因联系及其与区内地质构造活动与演化的关系是识别与厘定矿床成矿系列的依据,并以此探索、总结矿床成矿系列形成过程、成矿规律及找矿前景。

(5)矿床是构成矿床成矿系列和亚系列、矿床式的基本实体。其形成时具有双重身份:一是本身的出生成因,所属的矿床类型;二是属于某个矿床成矿系列中的成员。对矿床的研究,不但要理清矿床本身各方面特征及其成因,还要研究它与同区域中其他矿床之间的成因联系,确定其在某个矿床成矿系列中的定位。另外,目前所见到的矿床,是形成后经历了地质环境变动过程的状态,有的可以变动不大,保持原来的状态,有的可以不同程度地变质改造,但尚保留主体状态,有的已大部或全部改造,已形成新

的矿床。这方面的研究与识别十分重要,涉及矿床成矿系列整体形成后的变动及保存状况。对矿床的研究是厘定矿床成矿系列的基础,亦是区域成矿研究的基础与起点,必须充分给予重视。

(6)矿床成矿系列的继承性与被变质、叠加改造亦有特色(程裕淇等,1983;陈毓川等,2016)。在有的地区,可以经历多个构造-成矿旋回,每个旋回活动期间形成各自的矿床成矿系列。在这些地区有的可以见到先后形成的矿床成矿系列,在成矿元素组成上具有一定的继承性。如我国广西北部从新元古代晋宁期构造旋回、古生代加里东构造旋回、印支-燕山期构造旋回期间与花岗岩类有关的矿床成矿系列均有钨锡多金属矿床的产出。内蒙古白云鄂博地区中元古代与古生代构造旋回活动期内都有稀土矿床的形成,并且后者叠加于前者矿区内。太古宙的矿床成矿系列普遍被变质改造。继承性与变质及被后期矿床成矿系列叠加改造均发生在多旋回构造活动区内。由于各构造旋回的控矿因素都有各自的时空分布,有别于别的构造旋回,因此,矿床成矿系列被叠加改造的状况会变化较大。矿床成矿系列形成后的变动及保留状况是一项重要的探索研究内容。

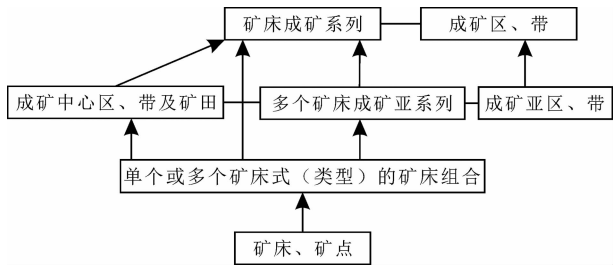


图3 矿床成矿系列内部结构图

Fig. 3 Internal structure of minerogenetic series for mineral deposits

矿床成矿系列的厘定及其形成过程的研究是探索矿床世界的基础性核心内容,厘定出矿床世界中自然形成的基本单元,为每一个矿床给予定位,归入共生的矿床自然体中,这亦是研究区域成矿规律的基础。在此基础上进一步探索各类矿床成矿系列在地球系统时空域中的联系、演化,可以更有效地探索研究地球成矿规律及地球形成与演化的过程与规律。

3 矿床成矿系列组、类型及组合

矿床成矿系列有几个特性应加以关注。

3.1 矿床成矿系列组

在同一个构造-成矿旋回期间及区域内,在不同

的地质构造环境中可以形成不同成矿作用的矿床成矿系列,如岩浆作用的、沉积作用的等,在形成时间上,可同时,亦可有先后,在空间上,可不同,局部亦可重叠。以长江中下游成矿带为例,在此带范围内,有燕山期岩浆作用形成的铜、铁、金、非金属矿床成矿系列,受构造-岩浆作用控制,可赋存于各个时代地层的构造带内。亦形成沉积作用的石炭纪-三叠纪的灰岩、煤、石膏矿等矿床成矿系列。新生代的表生铁帽型铁、金矿床成矿系列。这些矿床成矿系列由不同的成矿作用形成,形成时间不同,分布的空间有重叠亦有独立分布,是在此同一构造-成矿旋回的时空域中形成的各类矿床成矿系列,存在一定的内在联系及分布规律,是四维时空域中的成矿整体,这就是矿床成矿系列组(陈毓川等,2006;王登红等,2020),亦可作为此时空域中的成矿体系。

3.2 矿床成矿系列类型

地球系统的时空域很大,不同时段、不同空域可以形成同类的地质构造环境和成矿作用,从而形成同类的矿床成矿系列。不同时空域中形成的类似的矿床成矿系列,既有共性,亦均有各自时空域的成矿特色,可以相互借鉴,有利于区域找矿,但亦反映同类矿床成矿系列在时空域中的演化,对探索、研究地球系统成矿演化很有意义。因此,在地球系统的众多矿床成矿系列中建立矿床成矿系列类型,是很有实用与科学意义的。

3.3 矿床成矿系列组合

成矿作用是厘定矿床成矿系列的三大要素之一,本文将成矿系列归纳为五大成矿作用,每一类成矿作用形成的矿床成矿系列,归为同一个矿床成矿系列组合,因此分出五个矿床成矿系列组合。从地球系统开始运行至今,各类矿床成矿系列组合中的矿床成矿系列是动态演化的,各矿床成矿系列组合之间在质与量亦有变化,可以探索其演化规律及与地球系统演化的关系,这样的探索研究十分必要。

4 矿床成矿体系

矿床成矿体系是在较大的地球系统时空域中由有内在联系的矿床成矿系列所组成。矿床不是孤立存在的,矿床成矿系列亦是一样,不是单个孤立存在的,而是在地球系统各个演化时段内、不同层次的构造-成矿旋回时空域内组合形成矿床成矿体系,并形成全球成矿体系(图2)。历经长期研究,从事大地构造与区域成矿研究的学术界对大地构造运动的层次与成矿区带的层次划分有所共识,例如大地构造

单元的划分,有跨洲际的单元,如显生宙的古亚洲构造带、特提斯构造带、环太平洋构造带,矿床界亦相应分出三个跨洲际的成矿域,并另列一个秦-祁-昆成矿域。构造界普遍在同一旋回大地构造活动区内,分出不同层次的构造单元,矿床界基本上亦以此为原则分出不同层次的成矿区带。这些不同层次的构造单元和成矿区带,都是包含于不同范围的地球四维时空域内。在此域内各种地质作用与成矿作用形成各种地质体与矿床成矿系列。因此,笔者认为矿床成矿体系亦可分出不同层次。各层次的成矿体系都是由有一定内在联系的各类矿床成矿系列所构成,是一定时空域内相对独立的矿床成矿系列集合体。这些不同时空域中的矿床成矿体系组成地球矿床世界。起步层次的成矿体系是三级成矿区带的成矿体系,亦就是矿床成矿系列组。由成矿区、带内同构造-成矿旋回时空域中形成的各类矿床成矿系列集合体,是成矿区、带中完整的成矿实体,可以称之为成矿体系,是最简单、初始的成矿体系。成矿省级成矿体系,以华南成矿省为例,在中新生代时空域中形成华南成矿省中新生代矿床成矿体系,由众多的此时空域中新生代各类成矿区、带的矿床成矿系列组所组成。环太平洋中新生代成矿域的成矿体系就包含了华南中新世代的成矿体系。高层次成矿体系包含同时空域中次层次的成矿体系。

从地球系统在中国境内成矿地质构造环境的演化,笔者在上轮研究中在中国境内提出了四阶段成矿体系:太古宙陆核成矿体系、元古宙陆块边缘裂谷-裂陷带为主的成矿体系、古生代板块成矿体系和中新生代大陆成矿体系。这是更高层次的成矿体系,是从地球演化阶段进行汇总及总结规律。这四阶段的成矿体系亦是由各阶段不同时空域中的矿床成矿系列所构成。两类划分并不矛盾,可起到相互补充的作用(图 4),可更好探索地球矿床世界内部组成体的时空分布、相互关系及其演化的规律。作为成矿系列的研究,必须在厘定、研究矿床成矿系列的基础上,进一步研究由矿床成矿系列组成的成矿体系,才能深化对地球矿床世界的认识。

5 研究区域成矿谱系,探索成矿演化规律

地球陆块上各类成矿区、带都先后经历过不同数量构造-成矿旋回的活动,先后形成过不同时段的矿床成矿系列和成矿体系,研究各类成矿区、带从早到晚各时段的地质构造与成矿,并探索其先后演化

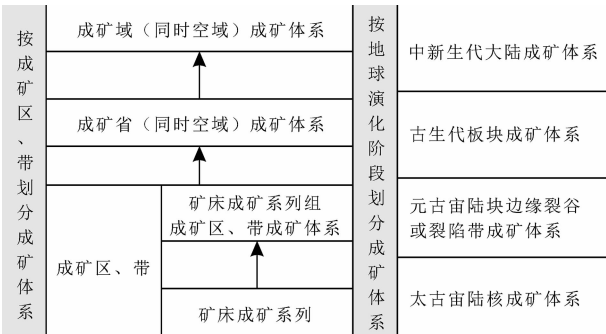


图 4 矿床成矿体系划分图
Fig. 4 Classification of metallogenic system for mineral deposits

轨迹与规律,建立区域成矿谱系及区域成矿模式,是成矿系列研究中的一项重要内容,有助于探索地球系统矿床世界成矿演化的规律。此项研究从地质矿产调查、分析测试到研究,从浅部到深部,进行总结及科学推测,从而探索及提出区域成矿形成过程与不同层次区域成矿规律。

6 成矿系列的序次与矿床的自然分类

成矿系列作为地球四维成矿的学术思想,其研究的途径及研究内容是什么?经过四十多年的不断探索研究,从矿床成矿系列逐步增加到矿床成矿系列组合、矿床成矿系列类型、矿床成矿系列组、矿床成矿亚系列、矿床式、矿床等,形成了成矿系列由五序次组成的初步认识。根据近十多年来对成矿体系的研究,认为成矿体系应列入成矿系列的序次,因此,成矿系列由六个序次组成(图 5)。这是成矿系列研究的不同层次。图 5 中间的六个序次,是一个成因相联系的整体,后者是前者的组成部分。

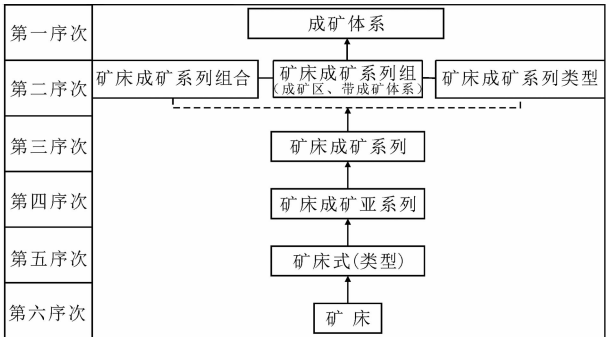


图 5 成矿系列序次图
Fig. 5 The orders of minerogenetic series of mineral deposits

成矿系列实际上亦就是矿床的自然分类,这是矿床世界自然客观的存在。对矿床分类的研究,先

后以其成因、成矿地质环境、工业应用的共性因素进行分类,这对矿床的科学探索与研究十分有用。在研究成矿系列的过程中,我们发现矿床世界本身以其矿床之间自然形成内在联系客观存在着六个层次的类别(成矿系列序次),这与人类社会的组成十分相似:个人—家庭—家族—民族—国家—国家联邦(表 1)。可见,在世界上存在一些自然规律适用于

地球世界各领域。矿床的自然分类就是以矿床形成的综合因素,体现在矿床之间的内在联系为依据进行划分,以矿床成矿系列为基本单元,其内部分出次级组成:亚系列、矿床式、矿床,向外构成矿床成矿系列组、成矿体系。形成较完整分类序次,与成矿系列划分的序次一致。因此,成矿系列本身就是矿床自然分类。

表 1 矿床自然分类与人类社会组成对比
Table 1 Comparison of natural classification of ore deposits and human society

层次 分类(组成)	1~2		2	3~4	5	6
矿床的自然分类(自然组成)	不同层次成矿体系		矿床成矿系列组	矿床成矿系列、亚系列	矿床式(类型)	矿床
人类社会的自然组成	国家联邦	国家	民族	家族	家庭	个人

7 成矿系列与成矿预测

成矿系列研究的目标,一是发展矿床学及区域成矿规律自然科学;二是促进找矿工作,发展矿业,服务国家所需。研究成矿系列的每一个层次都为此目标服务。作为科学研究促进找矿工作,主要通过对成矿规律性探索、创新成矿预测,从预测成矿远景区到找矿靶区。可以通过多渠道进行成矿预测:

(1)以矿床、矿床式(类型)及区域矿床成矿模式,在同一地质构造及成矿作用区内进行预测,不断提高“就矿找矿”的成功率。

(2)在工作程度较高的成矿区带,已建立的矿床成矿系列的矿床类型组合及其时空分布规律,在工作程度较低的同类地质构造环境、同类成矿作用地区,按“全位成矿、缺位找矿”的思维,进行区域性成矿预测,指导区域性找矿。

(3)以成矿系列成矿思维与综合信息成矿预测方法相结合,不断扩大预测领域及提升预测有效性。

8 成矿系列与成矿系统

成矿系列与成矿系统两个学术思想有共性,主要体现在矿床是形成于一定时空域中的矿床自然体,对矿床自然体的形成要素、过程、最终产物等研究内容基本一致(陈毓川等,2006)。不同之处是:成矿系列概念对矿床自然体及其联合体的确定是特定的时空域,是矿床世界的独一无二实体;矿床自然体的基本单元是矿床成矿系列,是同时间、同空间、同成矿作用形成的矿床自然体,其后期被改造等属于另一个矿床成矿系列范畴;由内在联系的矿床成矿系列组成不同层次成矿体系,甚至全球成矿体系;成矿系列亦是矿床的自然分类。两方面的研究方向一致,

各有特色,在不少方面可相互结合,为探索全球矿床世界的奥秘共同努力。

References

Chen P Q. 2003. Earth system sciences. Progress and prospect. *Advances in Earth Sciences*. 18(6): 974-979.

Chen Yuchuan, Mao Jingwen. 1995. *Metallogenic Series of Ore Deposits and Metallogenic Evolution Through Geological History in North Guangxi*. Nanning: Science and Technology Press of Guangxi (in Chinese with English abstract).

Chen Yuchuan, Pei Rongfu, Song Tianrui, Qiu Xiaoping. 1998. *Pleriminary Study on Minerogenetic Series in China*. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese with English abstract).

Chen Yuchuan, Pei Rongfu, Wang Denghong. 2020. On minerogenetic series: the third discussion. *Acta Geologica Sinica (English Edition)*, 94(1): 1~9.

Chen Yuchuan, Wang Denghong, Zhu Yusheng, Xu Zhigang. 2007. *Chinese Metallogenic System and Regional Metallogenic Evaluation*. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).

Chen Yuchuan, Wang Denghong, Xu Zhigang. 2015. *Important Mineral Resources and Regional Metallogenic Regularities in China*. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese with English abstract).

Chen Yuchuan, Pei Rongfu, Wang Denghong, Huang Fan. 2020. Four-dimensional metallogeny in earth system and study trends of mineral deposits: a discussion on minerogenetic series (Ⅶ). *Mineral Deposits*, 39(5): 745~753.

Cheng Yuqi, Chen Yuchuan, Zhao Yiming, Song Tianrui. 1979. Preliminary discussion on the problems of minerogenetic series of mineral deposits. *Bulletin of the Chinese Academy of Geological Sciences*, 1(1), 32~57 (in Chinese with English abstract).

Cheng Yuqi, Chen Yuchuan, Zhao Yiming, Song Tianrui. 1983. Further discussion on the problems of minerogenetic series of mineral deposits. *Bulletin of the Chinese Academy of Geological Sciences*, 5(6), 1~64(in Chinese with English abstract).

Du Jianguo, Wu Libin, Sun Mingming, Cai Yang, Gao Shuguang. 2020. Study on metallogenic series and regularities of ore deposits in Anhui Province. *Geology of Anhui*, 30(04): 246~254+301(in Chinese with English abstract).

Feng Xueshi, Wang Shangyan. 2004. *Minerogenetic Series of Regional Resources in Guizhou*. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).

Gu Liang, Zhou Shuren compilation. 1906. *Mineral Resources of China*. Shanghai Popular Book Company (in Chinese).

Han Zhenxin, Hao Zhengping, Hou Min. 1996. Minerogenetic Series of Major Metallogenetic Belts in Helongjiang Province. Ha'erbin: Ha'erbin Engineering University Press. (in Chinese).

Li Junquan, Tan Qiuming, Li Jiangzhou. 2005. Minerogenetic Series of Hubei. Wuhan: Science and Techology Press of Hubei (in Chinese).

Li Renpeng. 1996. Theory and Practice of Metallogenic System Analysis. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).

Liu Dequan, Tang Yanling, Zhou Ruhong. 1996. Minerogenetic Series of Xinjiang, China. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).

Lu Yingxiang, Shi Yubei, Sun Tao, Zeng Yan, Li Rong, Cao Xiaomin, Cheng Shenghui. 2021. Minerogenetic series of key mineral deposits in Yunnan Province, China. *Geology and Exploration*, 57(4): 693~727.

Luo Mingjiu, Li Shimei, Lu Xinxiang, Zheng Deqiong, Su Zhenbang. 2000. Mineralization and Minerogenetic Series of Major Mineral Resources in Henan Province. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).

Pan Tong. 2019. Discussion on theMinerogenetic Series of Deposits in Qinghai,China. *Journal of Earth Sciences and Environment*, 41(3):297~315.

Pei Rongfu, Lü Fengxiang, Fan Jizhang, Fang Ruheng, Qi Chaoshun. 1998. Minerogenetic Series and Prospecting of Ore Deposits in the North Margin and Further Area of the Huabei Massif. Beijing:Geological Publishing House (in Chinese).

Shao Heming, Zhang Lǔqiao. 2016. Main Metallogenic Belts and Metallogenic Series in Inner Mongolia Autonomous Region. Wuhan: China University of Geosciences Press(in Chinese).

Wang Denghong, Chen Yuchuan, Xu Zhigang. 2002. Minerogenetic Series and Regularity of Mineralization in the Altay Metallogenic Province, China. Beijing: Atomic Press (in Chinese).

Wang Denghong, Chen Yuchuan, Xu Yu. 2005. Cenozoic Metallogenesis in China. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).

Wang Denghong, Chen Yuchuan, Xu Zhigang, Huang Fan, Wang Yan, Pei Rongfu. 2020. Minerogenetic Series Group: Discussion on minerogenetic series (Ⅵ). *Acta Geologica Sinica*, 94(1): 18~35.

Wang Ping'an, Chen Yuchuan, Pei Rongfu, Wu Ganguo. 1998. Regional Minerogenetic Series, Tectonic-mineralization Cycle and Evolution of the Qinling Orogenic Belt. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).

Weng Wenhao. 1920. Les provinces métallogéniques de Chine. Bulletin of the Geological Survey of China, Ministry of Agriculture and Commerce, (2): 9 ~ 59 (in Chinese and German).

Ye Qingtong, Shi Guihua, Ye Jinhua, Yang Chongqiu. 1991. Metallogenic Characteristics and Metallogenic Series of Lead-zinc Deposits in Jinshajiang Area of Lancang River, Nu River. Beijing: Beijing Science and Technology Press (in Chinese).

Zhai Yusheng. 2004. Earth system sciences and the study on metallogenesis. *Earth Science Frontiers*, 11(1): 1~10.

Zhai Yusheng, Yao Shuzhen, Cui Bin. 1996. Metallogenic Series Study. Wuhan: China University of Geosciences Press (in Chinese).

Zhai Yusheng, Deng Jun, Li Xiaobo. 1999. Regional Metallogeny. Beijing:Geological Publishing House (in Chinese)

Zhai Yusheng, Zhang Hu, Song Honglin, Deng Jun, Cheng Xiaojiu. 1997. Macrsopic Structure and Superlarge Ore Deposit. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).

Zhang Baiming, Zhao Guoliang, Ma Guoxi. 1996. Minerogenetic Series and Model of Major Metallogenic Belts in Hebei Province. Beijing: Petroleum Press (in Chinese).

迹. 北京: 地质出版社.

陈毓川, 裴荣富, 宋天锐, 邱小平. 1998. 中国矿床成矿系列初论. 北京: 地质出版社.

陈毓川, 王登红, 朱裕生, 徐志刚. 2007. 中国成矿体系与区域成矿评价. 北京: 地质出版社.

陈毓川, 王登红, 徐志刚. 2015. 中国重要矿产和区域成矿规律. 北京: 地质出版社.

陈毓川, 裴荣富, 王登红, 黄凡. 2020. 论地球系统四维成矿及矿床学研究趋向——七论矿床的成矿系列. *矿床地质*, 39(5): 745~753.

程裕淇, 陈毓川, 赵一鸣, 宋天锐. 1979. 初论矿床的成矿系列问题. *中国地质科学院院报*, 1(1): 32~57.

程裕淇, 陈毓川, 赵一鸣, 宋天锐. 1983. 再论矿床的成矿系列问题. *中国地质科学院院报*, 5(6): 1~64.

杜建国, 吴礼斌, 孙明明, 蔡杨, 高曙光. 2020. 安徽省矿床成矿系列与成矿规律研究. *安徽地质*, 30(04): 246~254+301.

冯学仕, 王尚彦. 2004. 贵州省区域矿床成矿系列与成矿规律. 北京: 地质出版社.

顾琅, 周树人(鲁迅), 编纂. 1906. 中国矿产志. 上海普及书局.

韩振新, 郝正平, 侯敏. 1996. 黑龙江省主要成矿带矿床成矿系列. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学出版社.

李均权, 谭秋明, 李江洲. 2005. 湖北省矿床成矿系列. 武汉: 湖北科学技术出版社.

李人澎. 1996. 成矿系统分析的理论与实践. 北京: 地质出版社.

刘德权, 唐延龄, 周汝洪. 1996. 中国新疆矿床成矿系列. 北京: 地质出版社.

罗铭玖, 黎世美, 卢欣祥, 郑德琼, 苏振邦. 2000. 河南省主要矿产的成矿作用及矿床成矿系列. 北京: 地质出版社.

卢映祥, 施玉北, 孙涛, 曾妍, 李蓉, 曹晓民, 程胜辉. 2021. 云南关键矿产重要矿床成矿系列. *地质与勘探*, 57(4): 693~727.

潘彤. 2019. 青海矿床成矿系列探讨. *地球科学与环境学报*, 41(3): 297~315.

裴荣富, 吕凤翔, 范继璋, 方如恒, 齐朝顺. 1998. 华北地块北缘及其北侧金属矿床成矿系列与勘查. 北京: 地质出版社.

邵和明, 张履桥. 2016. 内蒙古自治区主要成矿区(带)和成矿系列. 武汉: 中国地质大学出版社.

斯米尔诺夫 B. N. 1981. 内生金属矿床的物质来源在地壳发展历史过程中的演变(秦国兴、张国荣译). 北京: 地质出版社.

王登红, 陈毓川, 徐志刚. 2002. 阿尔泰成矿省的成矿系列及成矿规律研究. 北京: 原子能出版社.

王登红, 陈毓川, 徐珏. 2005. 中国新生代成矿作用. 北京: 地质出版社.

王登红, 陈毓川, 徐志刚, 黄凡, 王岩, 裴荣富. 2020. 矿床成矿系列组——六论矿床的成矿系列问题. *地质学报*, 94(1): 18~35.

王平安, 陈毓川, 裴荣富, 吴淦国. 1998. 秦岭造山带区域矿床成矿系列、构造-成矿旋回与演化. 北京: 地质出版社.

翁文灏. 1920. 中国矿产区域论. 农商部地质调查所地质汇报, (2): 9~59.

叶庆同, 石桂华, 叶锦华, 杨崇秋. 1991. 怒江澜沧江金沙江地区铅锌矿床成矿特征和成矿系列. 北京: 北京科学技术出版社.

翟裕生. 2004. 地球系统科学与成矿学研究. *地学前缘*, 11(1): 1~10.

翟裕生, 姚书振, 崔彬. 1996. 成矿系列研究. 武汉: 中国地质大学出版社.

翟裕生, 张湖, 宋鸿林, 邓军, 程小久. 1997. 大型构造与超大型矿床. 北京: 地质出版社.

翟裕生, 邓军, 李晓波. 1999. 区域成矿学. 北京: 地质出版社.

章百明, 赵国良, 马国玺. 1996. 河北省主要成矿区带矿床成矿系列及成矿模式. 北京: 石油工业出版社.

参 考 文 献

陈毓川, 毛景文. 1995. 桂北地区矿床成矿系列和成矿历史演化轨

A discussion on minerogenetic series of mineral deposits (VIII)

CHEN Yuchuan^{* 1,2)}, PEI Rongfu¹⁾, WANG Denghong¹⁾, HUANG Fan¹⁾

1) *MNR Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037, China;*

2) *Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China*

** Corresponding author; chenyu@cags.ac.cn*

Abstract

The concept of minerogenetic series of mineral deposits (called metallogenic series for short) is not only a kind of academic thought of regional metallogenic research, but also a four-dimensional metallogenic theory of earth system. It considers that the earth's world of mineral deposits is composed of natural body of mineral deposit type association-minerogenetic series for mineral deposits and its consortium formed by various types of geological mineralization in a specific time domain and a specific space domain. The mineral deposit formation is controlled by three ore-forming elements of time, space and mineralization. The basic unit of the mineral deposits' world is the minerogenetic series for mineral deposits. The metallogenic series for mineral deposits constitute the metallogenic system, and the metallogenic system constitutes the mineral deposits' world. Six orders of metallogenic series are proposed in this paper.

Key words: minerogenetic series of mineral deposits; three ore-forming elements; minerogenetic series for mineral deposits; metallogenic system